Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 1, Spring 2024, p. 83-100

Effect of Three Species of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on some Physiological and Growth Characteristics of Peach Seedlings under Drought Stress Conditions

S. Khodaei [1], E. Ganji Moghaddam[2*], M. Zamanipour[3]

1- Master Degree of Horticulture, Shirvan Branch, Islamic Azad University, Shirvan, Iran
2- Associate Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: eganji31568@gmail.com)
3- Assistant Professor, Department of Agriculture, Technical and Engineering Faculty, Velayat University, Iranshahr, Iran

Received: 24-10-2022 Revised: 12-08-2023 Accepted: 22-08-2023 Available Online: 26-08-2023	**How to cite this article:** Khodaei, S., Ganji Moghaddam, E., & Zamanipour, M. (2024). Effect of three species of arbuscular mycorrhizal fungi on somep and growth characteristics of peach seedlings under drought stress conditions. *Journal of Horticultural Science*, *38*(1), 83-100. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22067/JHS.2023.79317.1202

Introduction

Since Iran is one of the arid and semi-arid regions of the world and due to the great importance of water in agriculture, it is very important to conduct research to improve drought stress in order to produce more quality products. In this regard, this study was conducted to investigate the effect of mycorrhiza species on some morphological and physiological characteristics of peach seedlings under drought stress. *Arbuscular mycorrhizal* fungi coexist with the roots of various plants and have a broad effect on their growth. These fungus are effective in the initial establishment of the plant under drought conditions. *Arbuscular mycorrhizal* fungi increases plant resistance to dehydration by increasing growth and uptake of nutrients, especially phosphorus.

Matherials and Methods

In order to investigate the effect of three species of *Arbuscular mycorrhizal* fungi on some vegetative characteristics and phosphorus absorption of peach seedlings under drought stress conditions, a factorial experiment was conducted based on a randomized complete block design with four replications. The experimental factors included: drought stress at four levels (100, 80, 60 and 40 percent of field capacity) and the second factor application of mycorrhizal fungus at four levels: application of three species of mycorrhiza fungi and three species of fungi, each in three concentration (75, 100, 125 g in a pot) with chemical fertilizer (100 g triple super phosphate for each pot) and fertilizer (without mycorrhiza) and control (without fertilizer and mycorrhiza). The measurements were comprised root traits, stem diameter, vegetative growth of branches, leaf area index, vegetation index, relative leaf water content, chlorophyll fluorescence, leaf electrolyte leakage, leaf phosphorus and colonization root percent.

Results and Discussion

Result showed that application of mycorrhizal fungi seems to be effective in reducing the effects of dehydration stress. The use of these fungi had a positive effect on reducing leaf electrolyte leakage under severe dehydration. According to the results obtained in this experiment, the highest efficiency in drought stress conditions was observed in *G. mosseae* and *G. intraradices*. Under drought stress conditions, the lowest values of root volume, greenness index, chlorophyll fluorescence, leaf electrolyte leakage, root colonization and leaf phosphorus content were observed. With increasing of drought stress, all of the mentioned traits reduced and mycorrhiza fungi had a

https://doi.org/ 10.22067/JHS.2023.79317.1202

positive significant effect on all studied traits. In this study, it was found that with increasing stress intensity, the traits were negatively affected and led to irreparable damage to the product. Therefore, it is expected that by preventing or minimizing the effects of stress, an effective step was taken to increase performance. The significant decrease in root colonization with increasing stress is probably due to the decrease in the growth of hyphae. The most important step after spore germination is the growth of hyphae resulting from germination, which plays an essential role in root colonization. Apparently, hyphae growth is more affected by osmotic potential than spore growth. The results obtained from this research showed that the roots of peach seedlings have significant symbiosis potential with arbuscular mycorrhizal fungi (Peymaneh & Zarei, 2013). According to Miyashita *et al*. (2005) Leaf photosynthesis activity can be used as a useful tool for classification of drought tolerant plants. Sajjadinia *et al*. (2010) regarding the relative water content and photosynthesis of several pistachio cultivars reported high correlation and high diversity in different stages and cultivars and stated that the decrease in relative water content strongly reduces transpiration, stomatal conductance and photosynthesis, which our results are consistent. With the escalation of tension, the greenness index also decreased; So that in the conditions of severe stress (40% of crop capacity), the amount of greenness index reached the lowest value. In the conditions of severe stress due to interruption of continuous irrigation, the plants entered from the stage of mild stress to the stage of severe dry stress, which seems that under these conditions, the decrease in the concentration of chlorophyll, in addition to the decrease in the amount of synthesis, is caused by the decomposition of chlorophyll due to the increase in the amount chlorophyllase, peroxidase and phenolic compounds. According to Schutz and Fangmier (2001), the decrease in the amount of chlorophyll in stress conditions is related to the increase in the production of oxygen radicals in the cell. These free radicals cause peroxidation and as a result the decomposition of this pigment. The greenness index is considered one of the most important growth parameters, which is reduced by drought stress conditions, and the results indicate that the treatment of mycorrhizal fungi in all three types of inoculated mushrooms has improved the greenness index and the adverse effects It has removed the drought stress to a great extent (Figure 6), which can be attributed to the improvement of water and food absorption by mycorrhizal roots (Larsson *et al*., 2008).

Conclusion

In general, this study showed that the best treatment related to the mycorrizha fungi was mosseae, which had the most effect on reducing the negative effects of stress

Keywords: Chlorophyll fluorescence, Cholorophyll index, Electrolyte leakage, Root colonization, Root volume

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ۱، بهار ۱٤۰۳، ص. ۱۰۰-۸۳

بررسی اثر سه گونه قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و رشدی دانهال‌های هلو تحت شرایط تنش خشکی

سعیده خدایی[۱]- ابراهیم گنجی مقدم[۲*]- محبوبه زمانی پور[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۳۱

چکیده

از آنجایی‌که ایران یکی از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است و با توجه به اهمیت فراوان آب در کشاورزی، انجام تحقیقاتی برای مقابله با تنش خشکی به‌منظور تولید محصولات باکیفیت‌تر بسیار حائز اهمیت است. در این راستا، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سه گونه قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر برخی ویژگی های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌های هلو در شرایط تنش خشکی انجام شد. قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار با ریشه گیاهان مختلف همزیستی دارند و تأثیر گسترده‌ای بر رشد آن‌ها دارند. این قارچ‌ها در استقرار اولیه گیاه در شرایط خشکی مؤثر هستند. قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار با افزایش رشد و جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر، مقاومت گیاه را در برابر کم آبی افزایش می‌دهند. به‌منظور بررسی اثر سه گونه قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر برخی خصوصیات دانهال‌های هلو تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل دو عامله در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل: تنش خشکی در چهار سطح (۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) به‌عنوان فاکتور اول و کاربرد قارچ مایکوریزا در ۱۴ سطح (سه گونه قارچ مایکوریزا شامل *Glomus mosseae*، *Glomus intraradices* و *Glomus hoi* در غلظت‌های مختلف، مخلوط این سه گونه هر کدام در سه غلظت (۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ گرم در گلدان) به همراه کود شیمیایی (۱۰۰ گرم سوپر فسفات تریپل به ازای هر گلدان) و تیمار کود شیمیایی (بدون قارچ مایکوریزا) و شاهد (بدون کود شیمیایی و قارچ مایکوریزا) به‌عنوان فاکتور دوم بودند. نتایج نشان دادند که در شرایط تنش خشکی، مقادیر حجم ریشه، شاخص سبزینگی، فلورسانس کلروفیل، نشت یونی برگ، کلونیزاسیون ریشه و فسفر برگ کاهش یافتند. بعلاوه، با افزایش شدت تنش (۴۰ درصد ظرفیت مزرعه)، صفات مورد مطالعه تحت تأثیر منفی بیشتری قرار گرفتند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش، استفاده از قارچ‌های مایکوریزا (*G. mosseae* و *G. intraradices*) در کاهش اثرات تنش خشکی مؤثر بودند. هم‌چنین، استفاده از این قارچ‌ها اثر مثبتی بر کاهش نشت یونی برگ در شرایط کم آبی شدید داشتند. با توجه به نتایج این آزمایش، بهترین تیمار مربوط به قارچ مایکوریزا گونه *G. mosseae* بود و بیشترین تأثیر را در کاهش اثرات منفی تنش به جای گذاشت.

واژه‌های کلیدی: حجم ریشه، درجه سبزینگی، فلورسانس کلروفیل، کلونیزاسیون ریشه، نشت یونی

۱- دانش آموخته کارشناس ارشد باغبانی، دانشگاه آزاد شیروان، شیروان، ایران
۲- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: eganji31568@gmail.com)
۳- استادیار، گروه کشاورزی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ولایت، ایرانشهر، ایران

https://doi.org/ 10.22067/JHS.2023.79317.1202

مقدمه

سازگاری محصولات کشاورزی با محیط‌های جدید، به‌ویژه در سناریوی تغییرات آب و هوایی از اهمیت حیاتی برخوردار است. به منظور تضمین تولید غذا در آینده، باید اقداماتی برای درک مکانیسم‌های سازگاری گیاه و تحمل به تنش‌های غیرزیستی مانند کمبود آب انجام شود، زیرا انتظار می‌رود این رویدادها در سال‌های آینده تشدید شوند (Elliott *et al*., 2014). ایران با قرار گرفتن در عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۸ درجه جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک به حساب می‌آید. محققین، ایران را در سال‌های آتی جزء گروه‌های دچار تنش آبی معرفی می‌نمایند (Alcamo *et al*., 2000). با توجه به این موضوع و همچنین وقوع خشک‌سالی‌های اخیر، توجه به مسأله کم آبی نیز بیشتر شده است (Smith & Read, 2008).

گیاهان با استفاده از مکانیسم‌های اجتناب از خشکی و یا تحمل به خشکی، که شامل تنظیم اسمزی، تنظیم هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز، تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و یا تنظیم جذب و جریان آب در بافت‌هایشان است، با تنش خشکی مقابله می‌کنند (Candar-Cakir *et al*., 2016).

به‌کارگیری صحیح کود بیولوژیک مایکوریزا، سبب کاهش مصرف کود و سم گردیده، آلودگی‌های زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد و نیل به کشاورزی پایدار را در پی دارد. بعلاوه، استفاده از کودهای بیولوژیک، کاهش مصرف آب، استفاده بهینه از آن و مقابله با سایر تنش‌های غیر زنده را نیز در بر خواهد داشت (Smith & Read, 2008).

قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار با ریشه تقریباً ۸۰ درصد از گونه‌های گیاهی زمین ارتباط همزیستی برقرار می‌کنند تا در ازای ۲۰ درصد کربوهیدرات‌های فتوسنتزی گیاه میزبان، آب و مواد مغذی خاک را جذب کنند (Parniske, 2008). این قارچ‌ها در استقرار اولیه گیاه در شرایط خشک‌سالی مؤثر می‌باشند. قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار از طریق افزایش رشد و جذب بیشتر عناصر غذایی به‌ویژه فسفر در شرایط تنش کم آبی، مقاومت گیاه به این شرایط را افزایش می‌دهند (Auge *et al*., 2001). علاوه بر این، مشخص شده است که این قارچ‌ها سبب افزایش حفظ مواد مغذی در گیاه میزبان شده و روابط آبی را در شرایط خشکی در گیاهان مرکبات بهبود می‌بخشد (Ortas, 2012). کاربرد ۱۰ میلی‌لیتر از سوسپانسیون اسپورهای مایکوریزا مخلوط با خاک نیز پارامترهای رشد زیتون را بهبود بخشید (Hafez *et al*., 2013).

از مکانیسم‌های احتمالی افزایش تحمل به خشکی در گیاهان مایکوریزایی می‌توان به افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه‌ها (Tian *et al*., 2013)، افزایش جذب آب در شرایط رطوبتی کم به‌دلیل گسترش ریسه‌های قارچی، ایجاد تعادل اسمزی و حفظ فشار تورگر، افزایش فعالیت فتوسنتزی، تجمع کربوهیدرات‌ها و پرولین و افزایش جذب عناصر غذایی اشاره کرد (Deepika & Kothamasi, 2015).

تنش کم آبی شدید، تعداد تارهای کشنده ریشه را کاهش و بر مورفولوژی ریشه و انشعابات ریشه صدمه وارد می‌نماید که در نتیجه آن جذب عناصر غذایی به‌وسیله سیستم ریشه‌ای کاهش می‌یابد. در این زمان، هیف‌های قارچ‌های مایکوریزا می‌تواند جانشین سیستم ریشه‌ای شود و عناصر غذایی را جذب نماید. نقش همزیستی مایکوریزی در شرایط تنش کم آبی در جذب عناصر غذایی مهم‌تر از نقش همزیستی مایکوریزی در شرایط بدون تنش می‌باشد (Ducic *et al*., 2009).

همزیستی ژنوتیپ‌های مختلف گیاه بادام با قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار موجب افزایش غلظت و جذب عناصر غیر متحرک مانند فسفر و روی گردید؛ اما غلظت عناصر نیتروژن، آهن و منگنز در اندام هوایی کاهش یافت. همچنین، تلقیح مایکوریزایی موجب افزایش غلظت برخی از عناصر مانند فسفر و روی در ریشه بادام شد؛ اما بر جذب مس و پتاسیم اثر مثبتی نشان نداد (Aghababaei *et al*., 2011). استفاده از قارچ مایکوریزا به‌طور معنی‌داری سبب افزایش و بهبود رشد و افزایش جذب فسفر در درختان سیب همزیست نسبت به شاهد گردید (Rich, 1998).

طبق بررسی انجام شده بر روی پایه مکزین لاین[1] تحت شرایط تنش خشکی، بیشترین حجم ریشه مربوط به تلقیح با قارچ *G. mossaea* بوده است که همین امر سبب بهبود مقاومت به خشکی در پایه مکزین لاین شد (Haghighatnia Nadian *et al*., 2012).

وقوع خشکسالی‌های مداوم در سال‌های اخیر که پهنه عظیمی از کشور را تحت تأثیر قرار می دهد، زنگ خطر مکرری را برای تولیدات کشاورزی و ثبات تولید به صدا درآورده است. بنابراین، انجام پژوهش هایی جهت بهبود تنش خشکی در راستای تولید محصول بیشتر و با کیفیت از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. در همین راستا، این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر گونه‌های قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌های هلو در شرایط تنش خشکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مرکز جهاد کشاورزی عشق

1- Mexican line

آباد به‌مدت یک سال اجرا گردید. عامل اول- تنش خشکی در چهار سطح (۴۰ درصد ظرفیت زراعی–تنش شدید، ۶۰ درصد ظرفیت زراعی–تنش متوسط، ۸۰ درصد ظرفیت زراعی–تنش ملایم و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه–بدون تنش) و عامل دوم- کاربرد قارچ مایکوریزا در ۱۴ سطح شامل: کاربرد گونه قارچ مایکوریزا *Glomus hoi*؛ در سه غلظت (H75، H100، H125 گرم در گلدان)، کاربرد گونه قارچ مایکوریزا *Glomus mosseae*؛ در سه غلظت (M75, M100, M125 گرم در گلدان)، کاربرد گونه قارچ مایکوریزا *Glomus intraradices* در سه غلظت (I75, I100, I125 گرم در گلدان) و مخلوط سه گونه قارچ مایکوریزا، در سه غلظت (Mi75, Mi100, Mi125 گرم در گلدان) به همراه کود شیمیایی (۱۰۰ گرم سوپر فسفات تریپل به ازای هر گلدان) و تیمار کود شیمیایی (بدون قارچ مایکوریزا) و شاهد (بدون کود شیمیایی و قارچ مایکوریزا) بودند.

قارچ مایکوریزا از مراکز تجاری معتبر و شرکت‌های خصوصی تولید کننده قارچ خاکزی تهیه گردید. هر گرم آن حاوی ۱۲۰ اسپور قارچ بود. همچنین، کود شیمیایی فسفر مورد استفاده از منبع کود سوپر فسفات تریپل بود که این کود حاوی ۴۶ درصد فسفر خالص می‌باشد. میزان مصرف کود شیمیایی فسفر براساس توصیه کودی آزمایش خاک تعیین گردید (جدول ۱).

اعمال تیمارهای تنش خشکی به روش وزنی صورت گرفت. برای به‌دست آوردن ظرفیت مزرعه‌ای ابتدا تعداد سه گلدان مشابه گلدان های کشت شده از خاک پر گردید و تا حد خروج آب از گلدان آبیاری شد و بعد از آن روی گلدان‌ها را با پلاستیک پوشیده تا تبخیر و تعرق صورت نگیرد. هر روز گلدان‌ها را وزن نموده تا زمانی‌که به حد ثبات وزنی برسد. سپس خاک هر گلدان را مخلوط کرده تا یکنواخت شود و بعد از آن مقداری از خاک برداشته و وزن اولیه آن را یادداشت کرده؛ سپس ۲۴ ساعت در داخل آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده و وزن ثانویه را یاداشت نموده و سپس ظرفیت مزرعه‌ای از رابطه زیر محاسبه گردید.

ظرفیت مزرعه= (وزن ثانویه–وزن اولیه) /(وزن اولیه)×۱۰۰

جهت اعمال تیمارهای تنش خشکی ابتدا مقادیر رطوبت در حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به روش وزنی اندازه‌گیری شدند و سپس میزان آب قابل استفاده از تفاضل ظرفیت مزرعه– نقطه پژمردگی به‌دست آمد و آب قابل استفاده در حالت ظرفیت مزرعه بر مبنای ۱۰۰ درصد فرض شد و سایر تیمارها بر مبنای آن سنجیده شد (Jalili Marandi, 2008). در این آزمایش، ظرفیت مزرعه برابر با ۱۸۸۰ سی‌سی و نقطه پژمردگی برابر با ۱۰۰۲ سی‌سی بود. آبیاری گلدان‌ها در ابتدا بدون تنش بود تا نهال‌های جوان هلو کاملا مستقر شدند و پس از گذشت ۲۰ روز تیمار خشکی اعمال گردید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مکان مورد مطالعه
Table 1- Physical and chemical charactristics of soil in the study location

نوع بافت خاک Soil texture type	عمق خاک Soil depth (cm)	پی اچ pH	شوری خاک EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی OC (%)	نیتروژن N (%)	فسفر Phosphore (ppm)
بافت لومی شنی Sandy loam type	0-30 cm	7.72	2.56	0.5212	0.076	10.1

اجرای آزمایش

نهال‌های دوساله هلو (رقم آلبرتا) از نهالستان مورد تأیید مرکز تحقیقات ثبت گواهی بذر و نهال شهرستان مانه و سملقان خریداری و در گلدان‌های پلاستیکی ۸ کیلوگرمی به شرح ذیل کشت گردید. قبل از عملیات کاشت نهال‌ها، گلدان‌ها براساس طرح آزمایشی اتیکت گذاری شدند. جهت زهکشی بهتر، ابتدا کف هر گلدان مقداری شن درشت (گراویه) ریخته شد. سپس به گلدان‌ها، یک سوم خاک اضافه و تیمار کودی اعمال گردید. نهال‌های هلو به گلدان‌ها منتقل و بقیه حجم گلدان با خاک آغشته به مقدار مشخص شده از قارچ مایکوریزا پر گردید. با توجه به شرایط منطقه آبیاری در بهار هر هفته یک بار و در تابستان هر ۴ روز یک بار صورت گرفت.

صفات مورد مطالعه

صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل رشد سالانه شاخه‌ها، شاخص سطح برگ، شاخص سبزینگی، فلورسانس کلروفیل، نشت یونی برگ، حجم ریشه و میزان کلونیزاسیون ریشه‌ها بودند که در پایان فصل رشد اندازه‌گیری شدند.

رشد سالانه شاخه‌ها: میزان رشد سالانه شاخه‌ها (رشد طولی) در شهریور ماه توسط متر اندازه‌گیری شد و تعداد آن‌ها شمارش و ثبت گردید.

شاخص سطح برگ: توسط دستگاه Leaf Area Meter) مدل Cl 203) سطح برگ اندازه‌گیری شد. برای این منظور اوایل تیر ماه در هر تیمار میانگین سطح ۵ عدد برگ کاملا توسعه یافته اندازه‌گیری شد و ثبت گردید.

شاخص سبزینگی: توسط دستگاه کلروفیل‌متر (دستگاه SPAD 502) براساس واحد اسپد محاسبه گردید. برای این منظور اوایل

تیرماه، از هر گلدان به‌طور میانگین، سه برگ توسعه یافته و از برگ های انتهایی که بیشتر در معرض نور خورشید بودند، انتخاب گردید و میانگین اندازه آن‌ها ثبت شد (Turner, 1998).

فلورسانس کلروفیل: در اوایل تیرماه که برگ نهال‌ها در مرحله حداکثر فعالیت فتوسنتزی بودند، اندازه‌گیری با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (مدل Opti-sciences) انجام گرفت. برای این منظور، تعدادی گیره مخصوص تهیه شد. گیره‌ها بر روی برگ‌های کاملا توسعه‌یافته، نصب و از بسته‌شدن دریچه آن‌ها اطمینان حاصل گردید. پس از گذشت ۳۰ دقیقه، فیبر نوری دستگاه به گیره‌ها متصل شد و دریچه آن‌ها باز و با استارت زدن دستگاه، میزان کلروفیل برای هر تیمار قرائت و یادداشت‌برداری صورت گرفت. تمامی اندازه‌گیری‌ها در فاصله زمانی ساعت ۱۰ الی ۱۴ انجام شد (Turner, 1998).

نشت یونی برگ: برای اندازه‌گیری نشت یون‌ها، برگ‌های توسعه یافته، انتخاب و با آب مقطر شستشو شدند. سپس از برگ‌ها، ۰/۵ گرم نمونه جدا و داخل فالکن (با حجم ۱۵ میلی‌لیتر) قرار داده شدند و ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر بر روی آن‌ها اضافه شد. فالکن‌ها به مدت دو ساعت با دور ۱۲۰ دور در دقیقه تکانده شدند. هدایت الکتریکی اولیه (EC) هر محلول با استفاده از دستگاه EC متر (مدل Hanna Hl 98192) اندازه‌گیری شد تا مقدار یون آزاد شده آن برای هر تیمار یادداشت‌برداری شود. در ادامه، فالکن‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲ اتمسفر اتوکلاو شدند. پس از خروج نمونه‌ها و سرد شدن آن‌ها مجددا به‌مدت ۲ ساعت با دور ۲۰۰ دور در دقیقه تکانده، و اندازه‌گیری توسط دستگاه EC متر صورت پذیرفت. درصد نشت یونی از رابطه زیر محاسبه شد (Barranco *et al*., 2005).

درصد نشت یونی= (هدایت الکتریکی نهایی/هدایت الکتریکی اولیه)×۱۰۰

حجم ریشه: ابتدا ریشه‌ها کاملا شستشو شده تا ناخالصی‌ها آن برطرف شود. به‌منظور اندازه‌گیری حجم ریشه از ظرف مدرج استفاده شد. ابتدا مقدار مشخصی از آب داخل ظرف ریخته شد و سپس ریشه ها به‌طور کامل داخل آن قرار گرفت. اختلاف ارتفاع آب از ارتفاع قبلی آن کسر و به‌عنوان حجم ریشه در نظر گرفته شد.

میزان کلونیزاسیون ریشه: به این منظور، ۲۴ هفته پس از زمان کاشت نهال‌ها، از قسمت‌های مویین ریشه به‌طور تصادفی به مقدار مورد نیاز جهت رنگ‌آمیزی برداشت و جداسازی صورت گرفت. سپس این نمونه‌ها بعد از شستشو با آب مقطر، به ظروف تیمار محلول هیدروکسید پتاسیم ۱۰ درصد به مدت ۲۴ ساعت منتقل شدند. در ادامه، نمونه‌ها با آب مقطر شسته شده و در محلول اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال قرار گرفتند. سپس شستشوی نمونه‌ها انجام شده و توسط محلول ۰/۰۵ درصد تریپان بلو در لاکتوگلیسرول (۸۷/۶ میلی‌لیتر اسید لاکتیک + ۶/۴ میلی‌لیتر گلیسیرین + ۶ میلی‌لیتر آب مقطر + ۰/۰۵ گرم تریپان بلو) رنگ‌آمیزی شدند. بعد از آن نمونه‌ها توسط محلول لاکتوگلیسرول رنگ‌بری شده و به قطعات یک سانتی‌متری تقسیم شدند. در هنگام رنگ‌آمیزی ریشه‌ها، مدت قرار گرفتن بر حسب قطر آن‌ها متغیر بود. پس از آن، میزان آغشتگی ریشه‌ها به قارچ مایکوریزا با استفاده از صفحه مدرج شطرنجی در زیر میکروسکوپ تشریحی محاسبه شد و درصد کلونیزاسیون از طریق شمارش ریشه‌های آلوده و غیر آلوده به‌دست آمد. از تقسیم مجموع ریشه‌های آلوده به‌دست آمده به کل ریشه‌ها ضرب در ۱۰۰ درصد کلونیزاسیون تعیین و ثبت گردید (Tennant, 1975).

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به‌دست آمده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه (۹/۱) استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۱ درصد انجام گرفت. نمودارهای مربوط به‌وسیله نرم‌افزار اکسل ترسیم گردید.

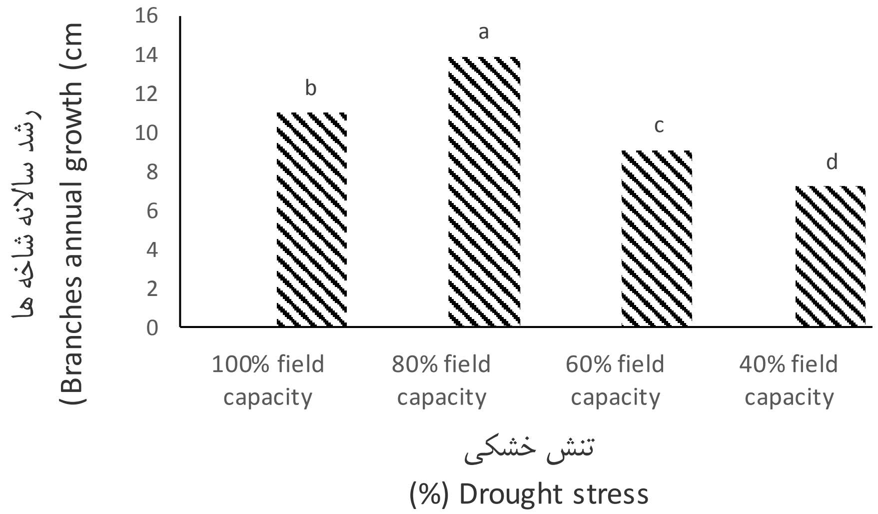
نتایج و بحث

رشد طولی سالانه شاخه‌ها

نتایج بررسی مقایسه داده‌های رشد سالانه شاخه‌ها نشان داد که بیشترین رشد سالانه شاخه‌ها در تیمار تنش ملایم یا ۸۰ درصد تنش مشاهده شد (شکل ۱) و با افزایش تنش این مقدار نیز کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در تیمار تنش شدید، ۷۸ درصد کاهش در رشد سالانه شاخه مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد تنش خشکی با کاهش میزان آب، کاهش پتانسیل کل آب، پژمردگی، بسته شدن روزنه و کاهش اندازه یاخته و رشد همراه است. مقدار و کیفیت رشد گیاه وابسته به تقسیم، بزرگ شدن و تمایزیابی یاخته و افزایش پیری برگ‌ها است که تحت تأثیر تنش آبی قرار می‌گیرد (Hung *et al*., 2005).

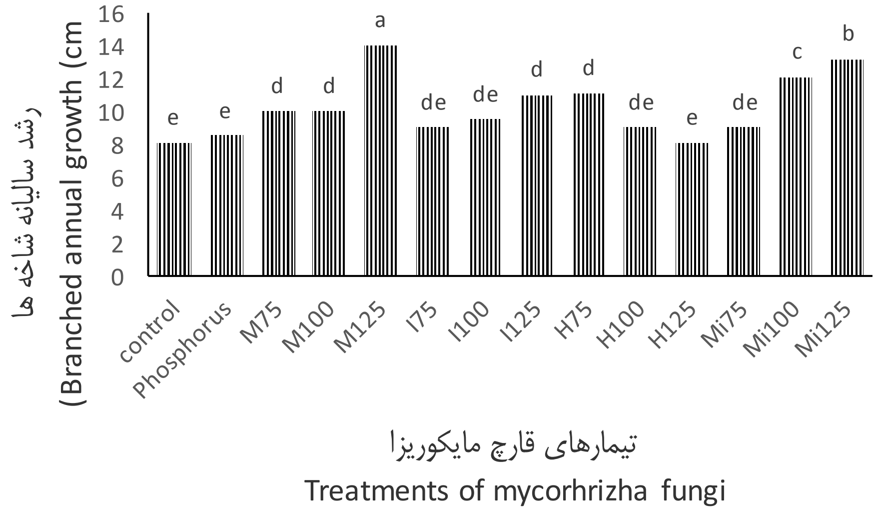
بررسی نتایج داده‌های مقایسه میانگین رشد سالانه شاخه‌ها نشان داد که بیشترین رشد سالانه مربوط به تیمار قارچ مایکوریزا *G. mosseae*، ۱۲۵ گرم مشاهده شده است که به‌ترتیب ۸۱ و ۷۲ درصد نسبت به تیمارهای شاهد و تیمار کاربرد فسفر افزایش رشد داشته است (شکل ۲).

به‌نظر می‌رسد این افزایش رشد به‌دلیل افزایش مؤثر سطح جذب ریشه از طریق ایجاد هیف و افزایش جذب، آب و مواد غذایی به‌وسیله گیاهان باشد (Auge *et al*., 2001). بنابراین اثرات قارچ مایکوریزا بر بهبود روابط آبی گیاه می‌تواند مستقل از وضعیت تغذیه گیاه باشد. در نتیجه با افزایش شدت تنش خشکی کارایی اثر قارچ مایکوریزا کمتر و باعث کم شدن رشد اندام‌های هوایی گیاه می‌شود (جدول ۳).



شکل ۱- اثر سطوح تنش خشکی بر رشد سالانه شاخه های نهال جوان هلو رقم 'آلبرتا'

Figure 1- The effect of drought stress levels on the branches annual growth of young peach seedlings cv. Elberta (LSD, $p\leq 0.05$)



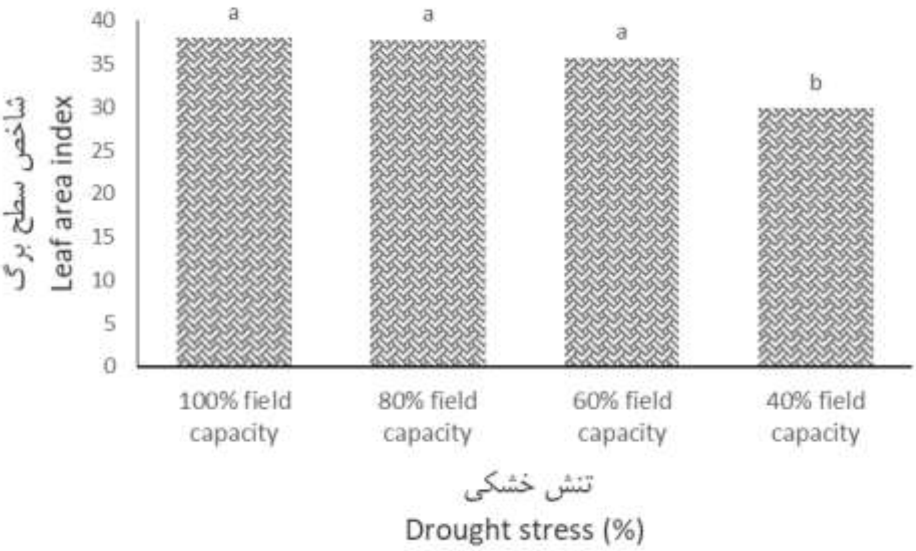
شکل ۲- اثر تیمارهای قارچ مایکوریزا بر رشد سالانه شاخه‌های نهال جوان هلو رقم 'آلبرتا'

Figure 2- The effect of mycorrhiza fungal treatments on the branches annual growth of young peach seedlings cv. Elberta (LSD, $p\leq 0.05$)

شاخص سطح برگ

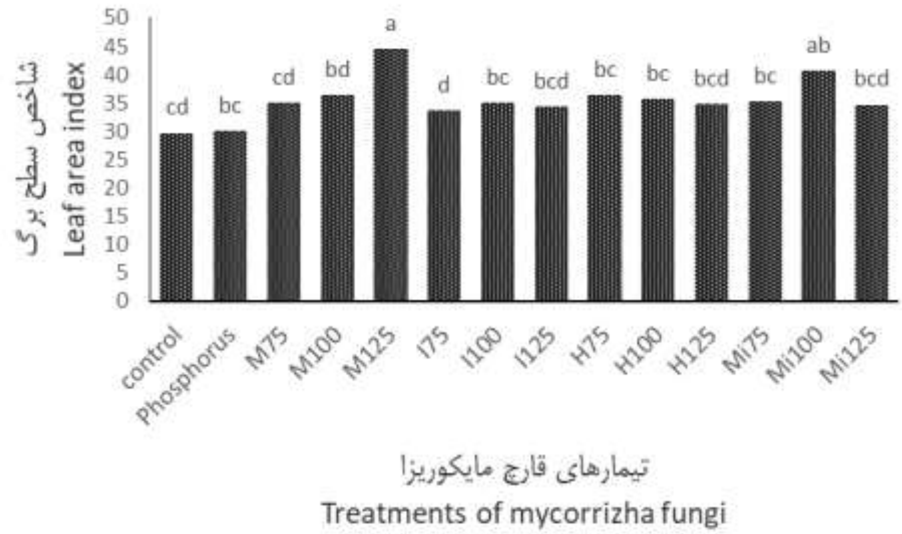
بررسی داده‌های حاصل از مقایسه میانگین شاخص سطح برگ نشان داد که تیمارهای سطوح خشکی باعث کاهش شاخص سطح برگ شد. بیشترین مقدار شاخص سطح برگ در تیمار شاهد یا عدم وجود تنش با میانگین ۳۹ درصد مشاهد شد که با بروز تنش خشکی شدید این مقدار ۸۶ درصد کاهش یافته است (شکل ۳).

مقایسه داده‌های شاخص سطح برگ نشان داد که در تیمارهای قارچ مایکوریزا بیشترین مقدار شاخص سطح برگ نسبت تیمار عدم کاربرد و هم‌چنین تیمار کاربرد فسفر مشاهده شد؛ به‌طوری‌که در تیمار *G. mosseae* ۱۲۵ با میانگین ۴۴/۵ بیشترین شاخص سطح برگ مشاهده شد (شکل ۴). شاخص سطح برگ یکی از شاخص‌های تعیین کننده رشد می‌باشد و همبستگی مثبتی بین سطح برگ با عملکرد زیستی و دانه ذرت گزارش شده است (Smith & Read, 2008).



شکل ۳- اثر سطوح تنش خشکی بر شاخص سطح برگ شاخه‌های نهال جوان هلو رقم 'آلبرتا'

Figure 3- The effect of drought stress levels on the leaf area index of young peach seedlings cv. Elberta (LSD, *p≤0.05*)



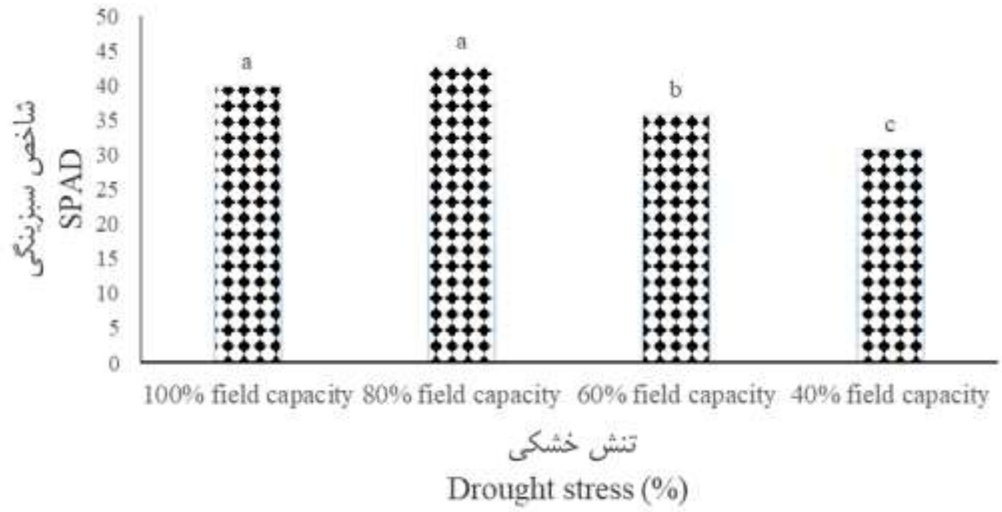
شکل ٤- اثر تیمارهای قارچ مایکوریزا بر شاخص سطح برگ نهال جوان هلو رقم 'آلبرتا'

Figure 4- The effect of mycorrhiza fungal treatments on the leaf area index of young peach seedlings cv. Elberta (LSD, *p≤0.05*).

هم‌چنین، نتایج اثر متقابل تنش خشکی و قارچ مایکوریزا نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ در شرایط بدون تنش (آبیاری ۱۰۰ درصد) و *G. hoi* ۱۰۰ گرم به‌دست آمده است. این در حالی است که با افزایش میزان تنش، مقدار شاخص سطح برگ در این تیمار کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در شرایط تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، این مقدار ۵۵ درصد کاهش یافت. اما در تیمار *G. moseae* ۱۲۵ گرم بیشترین میزان شاخص سطح برگ در شرایط تنش ملایم (۸۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد و در شرایط تنش شدید، ۳۵ درصد کاهش یافت. با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده شد که تیمار *G. moseae* ۱۲۵ گرم توانست به شاخص سطح برگ نهال جوان هلو رقم آلبرتا در تحمل تنش خشکی کمک کند (جدول ۳).

شاخص سبزینگی

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی و تیمارهای قارچ مایکوریزا از لحاظ آماری در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری در شاخص سبزینگی داشتند، اما بین اثر متقابل آن‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر تنش خشکی نشان داد که در شرایط تنش ملایم (۸۰ درصد ظرفیت مزرعه)، بیشترین میزان شاخص سبزینگی ثبت شد (شکل ۵).



شکل ۵- اثر سطوح تنش خشکی بر شاخص سبزینگی نهال جوان هلو رقم 'آلبرتا'

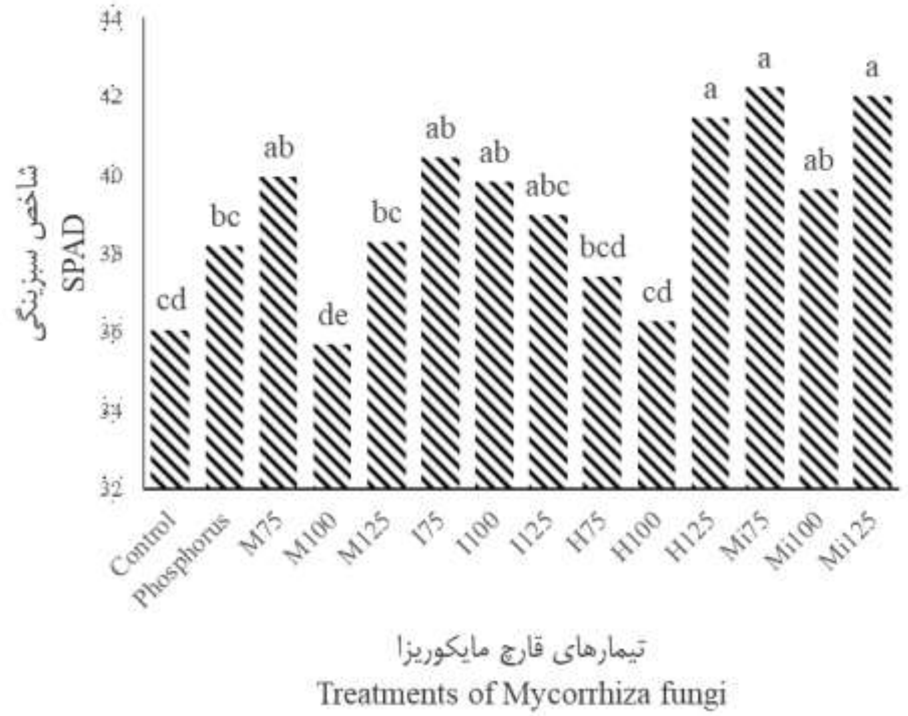
Figure 5- The effect of drought stress levels on the SPAD readings of young peach seedlings cv. Elberta leaf (LSD, $p\leq 0.05$)

با تشدید تنش، شاخص سبزینگی نیز کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در شرایط تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، میزان شاخص سبزینگی به کمترین مقدار رسید. در شرایط تنش شدید به‌علت قطع آبیاری مداوم، گیاهان از مرحله تنش ملایم وارد مرحله تنش شدید خشکی شدند که به نظر می‌رسد تحت این شرایط کاهش در غلظت کلروفیل علاوه بر کاهش در میزان سنتز، ناشی از تجزیه کلروفیل در اثر افزایش میزان کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی باشد. براساس نظر شوتز و فانگمیر (Schutz & Fangmier 2001) کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول است. این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و درنتیجه تجزیه این رنگیزه می‌گردند. شاخص سبزینگی یکی از مهم‌ترین پارامترهای رشدی محسوب می‌شود که شرایط تنش خشکی باعث کاهش آن گردیده است و نتایج حاکی از آن است که تیمار قارچ مایکوریزا در هر سه نوع قارچ مایه‌کوبی شده، شاخص سبزینگی را بهبود بخشید (شکل ۶) که دلیل آن را می‌توان بهبود جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه های مایکوریزای دانست (Larsson *et al.*, 2008).

فلورسانس کلروفیل

نتایج آنالیز داده‌های آزمایش نشان داد که تیمارهای سطوح تنش خشکی و کاربرد قارچ مایکوریزا و اثر متقابل آن‌ها، اختلاف معنی‌داری در سطح آماری یک درصد در صفت فلورسانس کلروفیل داشتند (جدول ۲).

داده‌های اثر متقابل تنش خشکی و قارچ مایکوریزا بر فلورسانس کلروفیل نشان داد که بیشترین میزان فلورسانس کلروفیل در شرایط بدون تنش و تیمار *G. intraradices* ۱۲۵ گرم بدست آمده است. در شرایط تنش ملایم، بیشترین میزان فلورسانس کلروفیل در تیمار مخلوط ۱۰۰ گرم، در شرایط تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) در تیمار بدون قارچ و فسفر و در شرایط تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) در تیمار *G. intraradices* ۷۵ گرم مشاهده شد (جدول ۳).



شکل ٦- اثر تیمارهای قارچ مایکوریزا بر شاخص سبزینگی نهال جوان هلو رقم 'آلبرتا'

Figure 6- The effect of mycorrhiza fungal treatments on the SPAD readings of young peach seedlings cv. Elberta(LSD, *p≤0.05*)

این موضوع نشان می‌دهد که گیاه برای حفظ آب، تعرق را کاهش داده و به‌همین دلیل فتوسنتز نیز در تیمار تحت تنش به حداقل رسید. از نظر میاشیتا و همکاران (Miyashita *et al*., 2005) فعالیت فتوسنتز برگ می‌تواند به‌عنوان وسیله‌ای مفید برای طبقه‌بندی گیاهان متحمل به خشکی استفاده شود. سجادی نیا و همکاران (Sajjadinia *et al*., 2010) در رابطه با محتوای نسبی آب و فتوسنتز چند رقم پسته همبستگی بالا و تنوع بالایی را در مراحل و ارقام مختلف گزارش و بیان کردند که کاهش محتوای آب نسبی به شدت، تعرق، هدایت روزنه و فتوسنتز را کاهش می‌دهد که با نتایج ما مطابقت دارد.

نشت یونی برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشت یونی برگ نشاحن داد که سطوح تنش خشکی و قارچ مایکوریزا و همچنین اثر متقابل تنش خشکی و قارچ مایکوریزا اختلاف معنی‌داری در سطح آماری یک درصد نشان دادند (جدول ۲).

مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح تنش خشکی و قارچ مایکوریزا نشان داد که با افزایش تنش، میزان نشت یونی برگ به ترتیب ۶۲ و ۹۴ درصد کاهش یافت. هم‌چنین، در شرایط تنش شدید، بهترین تیمار، *G. hoi* ۷۵ گرم بود که بیشترین نشت یونی برگ را در این شرایط نشان داد. تیمار بدون تنش، کمترین میزان نشت یونی را دارا بود و با اعمال تنش، نشت الکترولیت روند افزایشی داشت (جدول ۳). این نتایج با یافته‌های سیکس و همکاران (Sikes *et al*., 2009)، لوسیال و همکاران (Losciale *et al*., 2011) و پتروپولوس و همکاران (Petropoulos *et al*., 2008) که گزارش کردند تحت تنش خشکی، غشای سلولی پایداری خود را از دست داده و در صورت قرار گرفتن برگ در یک محیط آبی مواد محلول از سلول‌های آن تراوش می‌کند؛ بنابراین پایداری غشا به‌وسیله ارزیابی تراوش یون‌ها از آن تعیین می‌شود، مطابقت دارد.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر سه گونه قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی نهال جوان هلو رقم 'البرتا' تحت شرایط تنش خشکی

Table 2- ANOVA for the effect of three species of mycorrhiza fungi on some morphophysiological characteristics of young peach seedlings cv. Elberta under drought stress

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean squares			
		رشد سالیانه شاخه‌ها Annual growth of branches	شاخص سطح برگ Leaf surface index	شاخص سبزینگی SPAD	فلورسانس کلروفیل Chlorophyll florescence
بلوک Block	2	6.24	55.15	33.8[ns]	0.0004[ns]
تنش خشکی Drought stress	3	431.4**	604.7**	587.7**	0.129**
قارچ Fungi	13	88.05**	190.8**	55.69**	0.01**
تنش خشکی×قارچ Drought stress×Fungi	39	15.05**	114.6**	24.6[ns]	0.009**
خطا Error	110	5.5	47.7	18.7	0.0006
ضریب تغییرات CV (%)	--	23.9	19.5	11.08	3.6

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, and significant at $p\leq 0.01$ and $p\leq 0.05$, respectively.

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سه گونه قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی نهال جوان هلو رقم 'آلبرتا' تحت شرایط تنش خشکی

Table 2 Continued. ANOVA (mean squares) for the effect of three species of mycorrhiza fungi on some morphophysiological charactristics of young peach cv. Elberta seedling under drought stress

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean squares			
		نشت یونی برگ leaf electrolyte leakage	حجم ریشه Root volume	کلونیزاسیون ریشه Root colonization	میزان فسفر برگ Leaf phosphorus content
بلوک Block	2	0.02^{ns}	10.5^{ns}	124.3^{ns}	0.004^{ns}
تنش خشکی Drought stress	3	0.42**	28.4**	1365.2**	0.01*
قارچ Fungi	13	0.16**	123.4**	8520.39**	0.01*
تنش خشکی×قارچ Drought stress×Fungi	39	0.18**	8.07**	25.53**	0.001^{ns}
خطا Error	110	0.008	4.38	15.7	0.002
ضریب تغییرات CV (%)	--	8.35	12.4	5.8	9.25

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, and significant at $p \le 0.01$ and $p \le 0.05$, respectively.

جدول ۳- اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی × قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر صفات مورد مطالعه نهال جوان هلو رقم 'آلبرتا'

Table 3- Interaction effect of drought stress treatments ×Arbuscular mycorrhiza fungi on studied traits of young peach seedlings cv. Elberta

ظرفیت مزرعه Field capacity (%)	شاهد Control	فسفر Phosphorus	موسه *G. mosseae*			اینترارادیس *G. intraradices*			هوی *G. hoi*			مخلوط سه گونه Mixture of three species		
			75	100	125	75	100	125	75	100	125	75	100	125
رشد سالیانه شاخه‌ها Annual growth of branches (cm)														
100	6.3f*	6.0f	10.0d	8.10e	14.0b	10.0d	8.96de	11.66c	10.0d	8.00e	4.33g	10.0d	14.83ab	16.0a
80	6.10e	5.66e	7.87d	6.53e	14.33a	5.66e	9.30c	8.00d	6.83de	9.93c	8.66cd	5.86e	12.66b	10.06c
60	6.06bc	5.66c	7.66b	5.66c	12.76a	6.43bc	7.50b	7.33b	5.02c	8.33b	5.30c	0.5.66c	5.53c	12.0a
40	6.1bc	3.16d	4.66cd	8.00ab	9.33a	4.83cd	7.30b	7.16b	6.66bc	8.66a	5.43c	5.36c	5.23c	6.40bc
شاخص سطح برگ Leaf serface index														
100	28.13d	34.16c	29.43d	45.90ab	35.66c	27.25d	40.20abc	41.90abc	45.53ab	49.30ab	36.36c	32.86c	46.2ab	39.13bc
80	33.23c	39.26bc	42.93b	39.40bc	54.53a	23.26d	40.03bc	31.13c	38.10bc	22.9d	33.10c	46.46b	45.30b	40.60bc
60	36.13bc	42.83b	27.30d	33.23bc	47.43a	28.36d	32.53bc	34.43bc	35.06bc	39.03b	41.36b	30.63cd	39.26b	32.73bc
40	25.30de	32.36bc	24.23de	27.30d	40.33a	35.50b	27.36d	30.23c	26.96d	31.70bc	28.26cd	30.73c	32.26bc	26.16d
فلورسانس کلروفیل Chlorophyll fluorescence (mg.g^{-1} W)														
100	*0.838a	0.714bc	0.685c	0.581d	0.725bc	0.822a	0.797ab	0.846a	0.67c	0.667c	0.837a	0.713bc	0.823a	0.779ab
80	0.733bc	0.716c	0.749b	0.748b	0.757b	0.664d	0.742b	0.747b	0.741b	0.815a	0.762b	0.727bc	0.821a	0.750b
60	0.745ab	0.622e	0.655cd	0.78a	0.637de	0.662cd	0.652cd	0.716bc	0.737ab	0.718bc	0.695c	0.658cd	0.684c	0.668cd
40	0.703a	0.613c	0.591c	0.626bc	0.602c	0.72a	0.594c	0.709a	0.652ab	0.627bc	0.583cd	0.674ab	0.636ab	0.545d

*در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

*In each column, the means with common letters are not statistically significant at $p \leq 0.05$ according to LSD test.

ادامه جدول ۳- اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی × قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر صفات مورد مطالعه نهال جوان هلو رقم 'آلبرتا'

Table 3 continued- The interaction effect of drought stress treatments ×Arbuscular mycorrhiza fungi on studied traits of young peach seedlings cv. Elberta

ظرفیت مزرعه Field capacity (%)	شاهد Control	فسفر Phosphorus	موسه *G. mosseae* 75	100	125	اینترارادیس *G. intraradices* 75	100	125	هوی *G. hoi* 75	100	125	مخلوط سه گونه Mixture of three species 75	100	125
نشت یونی برگ Leaf electrolyte leakage (%)														
100	1.086bc	1.148b	0.820de	1.951a	1.02cd	0.995cd	1.267b	0.948cd	0.846d	1.08bc	1.00cd	1.05bcd	1.04bcd	1.160b
80	0.995d	0.951d	0.984d	1.222c	1.225c	1.004d	1.030d	1.202c	1.446b	1.558b	0.964d	2.04a	1.172cd	1.355 bc
60	0.821e	0.967d	1.202c	0.994d	0.994d	1.634a	0.969d	1.09cd	0.874de	1.204c	1.446b	1.26bc	1.300bc	1.099cd
40	0.930d	0.974cd	1.117b	0.827e	0.827e	0.974cd	0.976cd	1.00cd	1.304a	1.232a	0.680f	1.05c	0.925d	0.78ef
حجم ریشه Root volume (cm^3)														
100	10.53de	13.73cd	15.76c	18.86bc	23.00a	18.9bc	19.20abc	20.46ab	10.63de	21.00a	20.60ab	15.76c	21.36a	15.6c
80	10.16d	11.30cd	20.30a	19.33ab	20.5a	19.63ab	19.30ab	20.06a	15.63bc	19.16ab	21.20a	14.63bc	19.56ab	14.63bc
60	9.56f	11.36e	15.71cd	16.93c	36.20a	18.53b	16.40c	18.10bc	11.40e	20.96a	17.93bc	14.50d	18.93b	18.40b
40	9.63e	10.30de	18.13ab	19.60a	19.03a	18.70ab	15.2bcd	14.16cd	11.93d	16.33bc	19.60a	14.03cd	16.96bc	19.20a
کلونیزاسیون ریشه Root colonization (%)														
100	10.41e	10.16e	90.15ab	79.10c	87.86b	95.56a	85.47b	85.47b	85.55b	59.43d	83.64b	95.37a	85.96b	78.67c
80	8.03e	9.30e	87.59b	79.02c	86.84b	90.96ab	84.90b	84.90b	8487b	60.81d	81.77bc	94.19a	86.80b	7741c
60	7.12e	6.91e	82.98a	68.97c	80.92ab	86.2a	74.45b	74.45b	81.60a	54.11d	76.28b	84.13a	70.22c	72.6bc
40	5.25e	5.95e	79.14a	68.91b	71.06b	74.42b	71.75b	71.75b	72.98b	46.86d	64.14c	80.21a	72.49b	69.53b

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

[*]In each column, the means with common letters are not statistically significant at $p \leq 0.05$ according to LSD test.

حجم ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که حجم ریشه تحت تأثیر سطوح تنش خشکی و کاربرد قارچ مایکوریزا و همچنین اثر متقابل آن‌ها در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

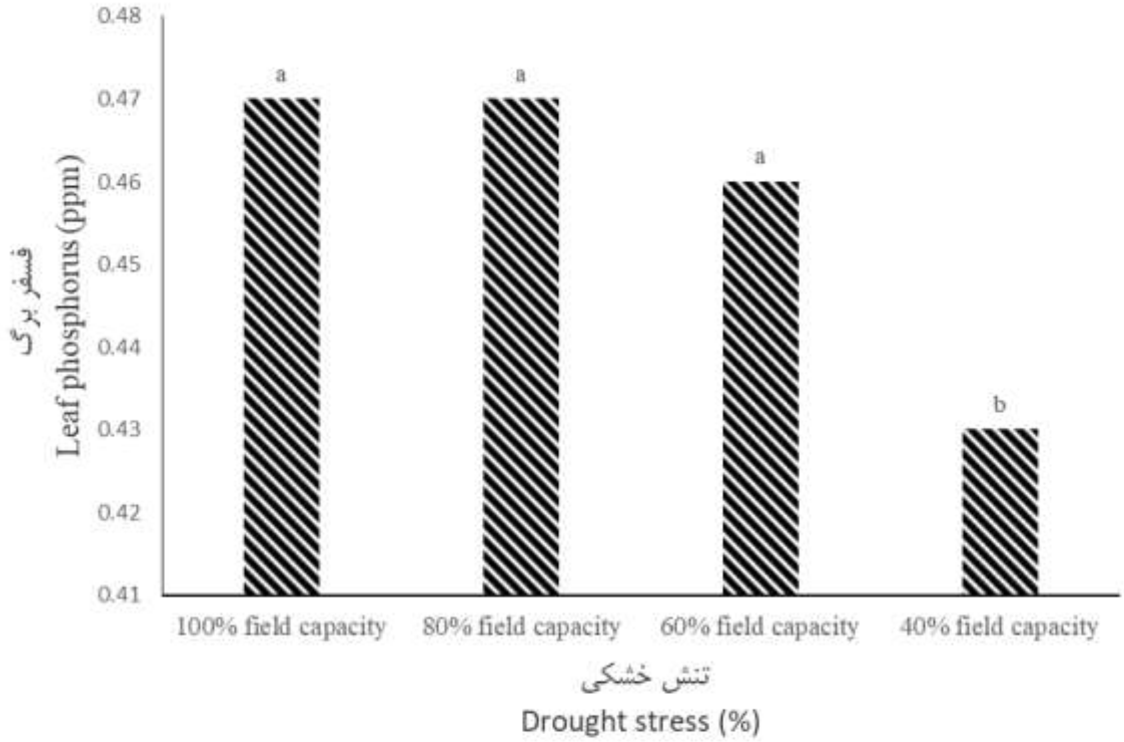
مقایسه داده‌های حاصل از تیمارهای اثر متقابل تنش خشکی و قارچ مایکوریزا نشان داد که در تیمار عدم تنش خشکی با کاربرد قارچ *G. mosseae* ۱۲۵ گرم، بیشترین حجم ریشه مشاهده شده است که به‌ترتیب نسبت به شاهد و تیمار کاربرد فسفر، ۱۰۹ و ۷۷ درصد از برتری معنی‌داری برخوردار بود (جدول ۳). طبق نتایج این تحقیق، حجم ریشه در تمامی نهال‌های تلقیح شده با سه گونه قارچ بیشتر از حجم ریشه نهال‌های تلقیح نشده است. به‌نظر می‌رسد قارچ مایکوریزا از طریق گسترش هیف و توسعه ریشه سبب افزایش حجم ریشه‌ها می‌گردد. این نتایج با یافته‌های حقیقت‌نیا و همکاران (Haghighatnia Nadian *et al*., 2012) و عیدی زاده و همکاران (Eydizadeh *et al*., 2010) که گزارش کردند حضورکودهای زیستی سبب بهبود خصوصیات خاک نظیر محتوای مواد آلی و افزایش دسترسی عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و عناصر ریزمغذی گردیده و موجب افزایش حجم ریشه گیاه می‌شود، مطابقت دارد.

کلونیزاسیون ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های کلونیزاسیون ریشه حاکی از آن است که بین تیمارهای تنش خشکی و کاربرد قارچ مایکوریزا در این طرح از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و بین تیمارهای اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده گردیده است (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر کلونیزاسیون ریشه نهال جوان هلو رقم آلبرتا نشان داد که بیشترین میزان کلونیزاسیون ریشه در شرایط بدون تنش و تیمار *G. intraradices* ۷۵ گرم مشاهده شد، که البته با تیمار *G. hoi* ۱۲۵ گرم در یک گروه آماری قرار گرفت. اما در شرایط تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، تیمار *G. hoi* ۱۲۵ گرم بیشترین میزان کلونیزاسیون ریشه را داشت و با تیمار *G. mosseae* ۷۵ گرم در یک گروه معنی‌داری قرار گرفت (جدول ۳). کاهش معنی‌دار کلونیزاسیون ریشه با افزایش تنش، احتمالا به‌دلیل کاهش در تندش و رشد هیف است. این نتایج با یافته‌های پیمانه و زارعی (Peymaneh & Zarei, 2013) که گزارش کردند مرحله مهم‌تر پس از تندش اسپور، رشد هیف حاصل از تندش است که نقش اساسی در کلونیزاسیون ریشه تحت تأثیر پتانسیل اسمزی دارد، مطابق است.

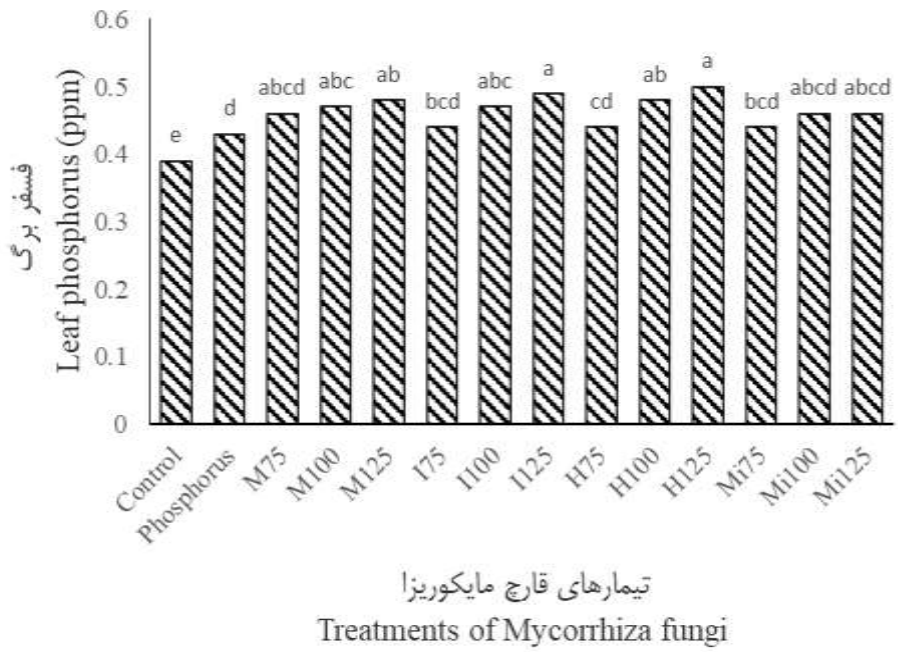
میزان فسفر برگ

در این مطالعه، میزان فسفر برگ تحت تأثیر تیمارهای سطوح تنش خشکی و قارچ مایکوریزا در سطح آماری یک درصد تفاوت معنی‌داری نشان دادند، اما اثر متقابل آن‌ها تاثیر معنی‌داری بر میزان فسفر برگ نداشت (جدول ۲). میزان فسفر برگ در تیمار تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) نسبت به سایر تیمارها کمتر بود (شکل ۷). همچنین، میزان فسفر برگ در نهال‌های مایکوریزایی بیشتر از نهال های شاهد بوده که بیانگر این است که هر سه گونه قارچ مایکوریزا سبب جذب فسفر در اندام هوایی شده است. تیمار قارچ *G. hoi* ۱۲۵ گرم و *G. intraradices* ۱۲۵ گرم از نظر آماری در یک کلاس قرار گرفتند. با افزایش شدت تنش خشکی از فسفر برگ و اندام‌های هوایی کاسته شده که شاید به‌دلیل کم شدن جذب آن توسط ریشه و کم شدن کلونیزاسیون باشد (شکل ۸). رازوک و همکاران (Razouk *et al*., 2015) در بررسی تأثیر دو گونه قارچ مایکوریزا بر خصوصیت فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی درختان هلو تحت تنش خشکی گزارش کردند که کاربرد مایکوریزا سبب جذب بیشتر فسفر در اندام هوایی شده است. تورک و همکاران (Turk *et al*., 2006) گزارش کردند که نقش اصلی قارچ‌های مایکوریزا، تأمین فسفر برای ریشه گیاه است، زیرا فسفر در خاک عنصری فوق‌العاده کم‌تحرک است. حتی در صورتی‌که فسفر به شکل محلول به خاک اضافه شود، به‌سرعت در شکل فسفات کلسیم یا دیگر اشکال تثبیت شده و به‌صورت غیرمتحرک در می‌آید. همچنین، تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز توسط ریسه‌های میکوریزا باعث می‌شود که فسفات غیرمحلول و تثبیت شده در خاک به فرم محلول درآید و برای ریشه قابل جذب گردد. بنابراین، قارچ های میکوریزا در افزایش جذب مواد معدنی به‌ویژه فسفر و تجمع زیست‌توده بسیاری از محصولات در خاک‌های با فسفر کم، تأثیر مثبت دارند که با نتایج ما مطابقت دارد.



شکل ۷- اثر سطوح تنش خشکی بر میزان فسفر برگ نهال جوان هلو رقم 'آلبرتا'

Figure 7- The effect of drought stress levels on the leaf phosphorus content of young peach seedlings cv. Elberta(LSD, *p≤0.05*)



شکل ۸- اثر تیمارهای قارچ مایکوریزا بر میزان فسفر برگ نهال جوان هلو رقم 'آلبرتا'

Figure 8- The effect of mycorrhiza fungal treatments on the leaf phosphorus content of young peach seedlings cv. Elberta (LSD, *p≤0.05*)

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش به‌نظر می‌رسد که کاربرد قارچ‌های مایکوریزا در کاهش آثار تنش کم آبی مؤثر است؛ به‌طوری‌که استفاده از این قارچ‌ها تأثیر مثبتی در کاهش نشت یونی برگ در شرایط تنش کم‌آبی شدید داشت. بیشترین میزان کارآیی در شرایط تنش خشکی، در گونه‌های قارچ *G. mosseae* و *G. intraradices* مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی، کم‌ترین مقادیر حجم ریشه، شاخص سبزینگی، فلورسانس کلروفیل، نشت یونی برگ و کلونیزاسیون ریشه مشاهده شد. این مشاهدات نتیجه اثرات فیزیکی، تغذیه‌ای، فیزیولوژیکی و سلولی تنش بر گیاه است که با افزودن قارچ مایکوریزا به بستر کشت نهال جوان هلو رقم آلبرتا و به‌طور ویژه، گونه قارچی *G. mosseae*، در مقدار ۱۲۵ گرم ضمن تعدیل اثرات تنش می‌تواند گیاه را در برابر عوامل نامساعد محیطی محفوظ نگه دارد.

References

1. Aghababaei, F., Raisey, F., & Nadyan, H. (2011). Influence of mycorrhizal symbiosis on the uptake of nutrients in some commercial genotypes of almond in a sandy loam soil. *Iranian Journal of Soil Research*, *25*(2), 137 - 147. (In Persian)
2. Alcamo, J., Henrichs, T., & Rosch, T. (2000). World water in 2025-global modeling and scenario analysis for the world commission on water for the 21st century. *Center for environmental systems research, Univ. Kassel, Kurt Wolters Strasse*, *3*, 34-109.
3. Auge, R.M., Stodola, A.J.W., & Tims, J.E. (2001). Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. *Plant and Soil*, *230*, 87-97. https://doi.org/10.1023/A:1004891210871
4. Barranco, D., Ruiz, N., & Gomez-del-Campo, M. (2005). Frost tolerance of eight olive cultivars. *HortScience*, *40*, 558-560. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.3.558
5. Candar-Cakir, B., Arican, E., & Zhang, B. (2016). Small RNA and degradome deep sequencing reveals drought- and tissue-specific micrornas and their important roles in drought-sensitive and drought-tolerant tomato genotypes. *Plant Biotechnology Journal*, *14*, 1727-1746. https://doi.org/10.1111/pbi.12533
6. Deepika, S., & Kothamasi, D. (2015). Soil moisture-a regulator of arbuscular mycorrhizal fungal community assembly and symbiotic phosphorus uptake. *Mycorrhiza*, *25*(1), 67-75. https://doi.org/10.1007/s00572-014-0596-1
7. Ducic, T., Berthold, D., Heyser, R.L.F., & Polle, A. (2009). Mycorrhizal communities in relation to biomass production and nutrient use efficiency in two varieties of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* var. Menziesii and var. glauca) in different forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, *41*, 742-753. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.01.013
8. Elliott, J., Deryng, D., Müller, C., Frieler, K., Konzmann, M., & Gerten, D. (2014). Constraints and potentials of future irrigation water availability on agricultural production under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *111*, 3239–3244. https://doi.org/10.1073/pnas.1222474110
9. Eydizadeh, K., Mahdavi Damghani, A., Sabahi, H., & Soufizadeh, S. (2010). Effects of integrated application of biofertilizer and chemical fertilizer on growth of maize (*Zea mays* L.) in Shoushtar. *Agroecology*, *2*(2), 292-301. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V2I2.7636
10. Hafez, O.M., Saleh, M.A., & El-Lethy, S.R. (2013). Response of some seedlings olive cultivars to foliar spray of yeast and garlic extracts with or without vascular Arbuscular Mycorrhizal fungi. *World Applied Sciences Journal*, *24*, 1119-1129. https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.24.09.13271
11. Haghighatnia, H, Nadian, H., Rejali, F., & Tavakoli, O.R. (2012). Effect of two species of Arbuscular-Mycorrhizal fungi on vegetative growth and phosphorous uptake of Mexican lime rootstock (*Citrus aurantifolia*) under drought stress conditions. *Seed and Plant Production Journal*, *2-28*(4), 401-417. (In Persian). https://doi.org/10.22092/SPPJ.2017.110486
12. Hung, S.H., Yu, C.W., & Lin, C.H. (2005). Hydrogen peroxide functions as a stress signal in plants. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, *46*, 1-10.
13. Jalili Marandi, R. (2008). *Physiology of Environmental Tensions and Resistance Mechanisms in Garden Plants*. Jahad Daneshgahi Press. Vol. 1-636 p. (In Persian)
14. Larsson, E.H., Bornman, J.F., & Asp H. (2008). Influence of UV-B radiation and CO_2+ on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in *Brassica napus*. *Journal of Experimental Botany*, *149*, 1031-1039. https://doi.org/10.1093/jexbot/49.323.1031
15. Losciale, P., Zibordi, M., Manfrini, L., Morandi, B., Bastias, R.M., & Corelli Grappadelli, L. (2011). Light management and photoinactivation under drought stress in Peach. *Acta Horticulturae*, *922*, 341-348. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.922.44

16. Miyashita, K., Tanakamaru, S., Maitani, T., & Kimura, K. (2005). Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Journal of Experimental Botany, 53*, 205-214. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.03.015
17. Ortas, I. (2012). Mycorrhiza in Citrus: Growth and Nutrition. In Advances in Citrus Nutrition; Sirivastava, A.K., Ed.; Springer: *Dorderecht, The Netherlands* pp. 333–351. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4171-3_23
18. Parniske, M. (2008). Arbuscular Mycorrhiza: The mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology, 6*, 763-775. https://doi.org/10.1038/nrmicro1987
19. Petropoulos, S.A., Dimitra, D., Polissiou, M.G., & Passam, H.C. (2008). The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. *Scientia Horticulturae, 115*, 393-397. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.008
20. Peymaneh, Z., & Zarei, M. (2013). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and absorption of nutrients of orange base in dehydrated conditions. *Journal of Soil Biology, 1*(1), 24-13. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/SBJ.2013.120917
21. Razouk, R., Ibijbijen, J., Kajji, A., & El Hafa, H. (2015). Alleviation of drought stress of young peach (*Prunus persica* L.) trees by using arbuscular mycorrhizal fungi. *Research & Reviews in BioSciences, 10*(6), 199-209.
22. Rich, T.E. (1998). Endomycorrhizal fungal survival in continuous corn, soybean and fallow. *Agronomy Journal, 95*(1), 224-230. https://doi.org/10.2134/agronj2003.2240
23. Sajjadinia, A., Ershadi, A., Hokmabadi, H., Khayyat, M., & Gholami, M. (2010). Gas exchange activities and relative water content at different fruit growth and developmental stages of on and off cultivated pistachio trees. *American Journal of Agricultural Economics, 1*, 1-6.
24. Schutz, H., & Fangmier, E. (2001). Growth and yield responses of spring Wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO_2 and water limitation. *Environmental Pollution, 114*, 187-194. https://doi.org/10.1016/s0269-7491(00)00215-3
25. Sikes, B.A., Cottenie K., & Klironimos, J.N. (2009). Plant and fungal identity determines pathogen production of plant roots by arbuscular mycorrhizals. *Journal of Ecology, 97*, 1274-1280. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01557.x
26. Smith, S.E., & Read, D.J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*, third cd. Academic press, London, Uk.
27. Tennant, D. (1975). A test of a midified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology, 63*, 995-1001. https://doi.org/10.2307/2258617
28. Tian, M., Chen, Y.L., Li, M., & Liu, R.J. (2013). Structure and function of arbuscular mycorrhiza: a review. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao, 24*(8), 2369-2376.
29. Turk, M.A., Assaf, T.A., Hameed, K.M., & Tawaha, A.M. (2006). Significance of mycorrhizae. *World Journal of Agricultural Sciences, 2*, 16-20.
30. Turner, N.C. (1981). Techniques and experimental approaches for the measurement of plant waer status. *Plant and Soil, 58*, 339-366. https://doi.org/10.1007/BF02180062